

## การพัฒนาระบบการควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง สำหรับหัวเผาไหม้ เชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาด 1 MW

### Development of continuous flow control system of pulverized fuel and air in a 1 MW biomass fired burner

พีรพัฒน์ เทพลิบ<sup>1</sup>, จารุวัตร เจริญสุข<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

\*ติดต่อ: E-mail: kjaruw@kmitl.ac.th, โทรศัพท์: 023 264 197, โทรสาร: 023 264 198

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบการควบคุมการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง สำหรับหัวเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งชนิดผงขนาดพิกัด 1 MW ความร้อน กิจกรรมประกอบด้วย 1) การพิจารณาคัดสรรและการติดตั้งอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนอัตราการไหล 2) การติดตั้งเครื่องมือวัดพารามิเตอร์สำคัญต่างๆ เพื่อส่งสัญญาณป้อนกลับไปยังชุดอุปกรณ์ประมวลผล ทำการทดสอบเพื่อหาคุณลักษณะเฉพาะ (characteristic) ของระบบย่อยแต่ละระบบเพื่อกำหนดองค์ประกอบของรูปแบบการควบคุมชนิด สัดส่วน ปริพันธ์ อินทิเกรตที่ใช้ เพื่อการควบคุมแบบอัตโนมัติในอนาคต โดยการตอบสนองของระบบที่ให้ความสนใจจะทำการควบคุม ได้แก่ 1) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชนิดเม็ดจากแหล่งกักเก็บ สู่อุปกรณ์บดเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้เป็นผง 2) การส่งเชื้อเพลิงชีวมวลผงด้วยลมที่ใช้เป็นอากาศปฐมภูมิ (primary air) และ 3) อัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ (secondary air) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบป้อนอากาศและเชื้อเพลิงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพตามค่าที่กำหนดไว้ นอกจากนี้จะทำการทดสอบเพื่อหาขีดจำกัดของการลำเลียงเชื้อเพลิงผง ผลการวิจัยและพัฒนาระบบควบคุมการไหลอากาศและเชื้อเพลิงที่ได้นี้ จะถูกรวมกับระบบควบคุมด้านความปลอดภัย และการควบคุมเงื่อนไขการดำเนินการเมื่อมีการเผาไหม้ จากการทดลองพบว่าอัตราการบดสูงสุดที่ให้ขนาดเชื้อเพลิงที่ฟุ้งประสม (ขนาดรูตะแกรง 0.5 mm) ที่ไม่ทำให้เกิดการสะสมของเชื้อเพลิง คือ 0.3 kg/min ในขณะที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงของสกรูป้อนเชื้อเพลิงในรูปแบบผงจำกัดอยู่ที่ประมาณ 5.7 kg/min การเป่าเชื้อเพลิงของห้องเจตปัมสามารถส่งเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้ตลอดย่านที่ทำการทดลอง หากแต่เกิดการสะสมของเชื้อเพลิงตามบริเวณจุดต่างๆ ของฮอปเปอร์และเจตปัม อัตราการไหลสูงสุดที่สามารถทำได้ของอากาศปฐมภูมิคือ 0.030 m<sup>3</sup>/s (DP = 2.37 mbar) อากาศทุติยภูมิคือ 0.185 m<sup>3</sup>/s (DP = 25.57 mbar) และอากาศทุติยภูมิคือ 0.079 m<sup>3</sup>/s (DP = 16.22 mbar) ทั้งนี้การพัฒนาอุปกรณ์บดและลำเลียงเชื้อเพลิงให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องในย่านที่ใช้งานคือเป้าหมายต่อไปของการพัฒนา

**คำหลัก:** หัวเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล, การควบคุมชนิด สัดส่วน ปริพันธ์ อินทิเกรต, การควบคุมการไหล

#### Abstract

This paper presents the development of continuous flow control system of pulverized fuel and air in a 1 MW biomass fired burner. The activity involves with; 1) selection of sensors and actuators, 2) installation of these instruments for measurement of essential parameters, and 3) characterization of each subsystem for finding the combination of PID mode of control. The responses of fuel and air feeding systems under current interest are: 1) the feed rate of pellet from storage tank to the pulverizer unit, 2) transport of pulverized fuel to the burner by the primary air and 3) secondary air flow rate. The current objective if this work is to control the above responses of the fuel and air feeding system. Moreover, tests will be carried out to find fuel transportation characteristic by primary air at various feeding rate as provided by fuel feeding system. The control system developed in this work

## DRC-03

1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา

will then be integrated with other control units such as condition monitoring unit and eventually the combustion control unit. From experiment it was found that the maximum pulverizing rate (operated at 0.5 mm in sieving diameter) is 0.3 kg/min, while the limit capacity of screw feeder when operated with pulverized fuel is 5.7 kg/min. The primary air was able to carry fuel particle to the burner throughout the operation range. However fuel particle has deposited in dead zones within the hopper and jet pump structure. The maximum flow rate of primary air is  $0.030 \text{ m}^3/\text{s}$  (DP = 2.37 mbar), secondary air is  $0.185 \text{ m}^3/\text{s}$  (DP = 25.57 mbar) and tertiary air is  $0.079 \text{ m}^3/\text{s}$  (DP = 16.22 mbar). Next attempt of this work is to improve the pulverizer and pumping units so that it will operate smoothly within the operation range of the burner.

**Keywords:** Biomass fired burner, PID control, Flow control

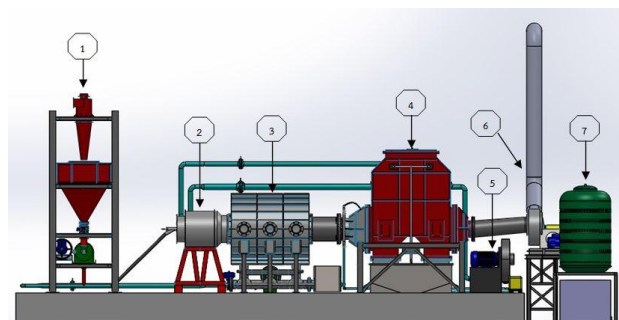
### 1. บทนำ

บทความนี้จัดทำขึ้นเพื่อรายงานความก้าวหน้าแสดงถึงปัญหาและวิธีแก้ปัญหาในการเก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดลอง ซึ่งจะขอลำถึงในส่วนของการลำเลียงเชื้อเพลิงผง อากาศปฐุมภูมิ ทุติยภูมิและตติยภูมิ การเลือกกระบอกเซนเซอร์ ติดตั้ง และการวัด เพื่อนำค่าที่เก็บได้นั้นไปกำหนดค่าพารามิเตอร์และออกแบบระบบควบคุมที่เหมาะสม

### 2. ภาพรวมของระบบ

เนื่องจากระบบนี้เป็นระบบใหญ่ที่มีส่วนประกอบปลีกย่อยมากมายจะขออธิบายขั้นตอนโดยสังเขปดังนี้ เชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบนี้มีสองชนิดคือเชื้อเพลิง LPG และเชื้อเพลิงไม้ยางพาราอัดเม็ด(Wood pellet) ที่มีข้อดีในเรื่องของความปลอดภัยในการเก็บรักษาและความสะดวกในการขนส่ง โดยจะถูกเก็บไว้ในส่วนเก็บ(หมายเลข 1 ในรูปที่ 1) ในการเริ่มติดเตาเชื้อเพลิง LPG จะถูกใช้ในการอุ่นเตาเมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ต้องการแล้วระบบจะเริ่มจ่ายเชื้อเพลิงเม็ดโดยสกรูฟีดเข้าสู่เครื่องบด เครื่องบดจะบดเชื้อเพลิงจนมีขนาดเล็กพอที่จะผ่านตระแกรงแล้วไหลเข้าสู่หัวเผา(หมายเลข 2 ในรูปที่ 1) อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงผงได้มาจากพัดลมอัดอากาศ(หมายเลข 5 ในรูปที่ 1) เมื่อเชื้อเพลิงผงติดไฟจนมีความเสถียรภาพแล้วจะตัดการป้อน LPG ไอเสียที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงผงจะถูกทำให้เย็นลงและดักจับใน Wet scrubber(หมายเลข 4 ในรูปที่

1) และถูกดูดไปสู่ท่อไอเสียด้วยพัดลมดูดไอเสีย (หมายเลข 6 ในรูปที่ 1) ส่วนน้ำที่ใช้ในการลดอุณหภูมิไอเสียและดักจับฝุ่นละอองใน Wet scrubber จะถูกดูดลงสู่บ่อตกตะกอนและระบบหมุนเวียนน้ำ(หมายเลข 7 ในรูปที่ 1)



รูปที่ 1 แสดงภาพรวมของระบบ

### 2.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ

1. ส่วนเก็บเชื้อเพลิง บดเชื้อเพลิงและป้อนเชื้อเพลิง
2. หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวล
3. ห้องเผาไหม้
4. ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนและบำบัดไอเสีย
5. พัดลมอัดอากาศในส่วนปฐมภูมิ-ทุติยภูมิ
6. พัดลมดูดไอเสีย และท่อไอเสีย
7. ส่วนถังเก็บน้ำที่ใช้ในระบบรวมถึงบ่อตกตะกอน

### 2.2. รายละเอียดของส่วนต่างๆ

เนื่องจากการลำเลียงเชื้อเพลิงแข็งชนิดผง ในที่นี้ใช้ไม้ยางพาราอัดแท่ง(Wood pellet) เข้าสู่หัวเผานั้นมีหลายส่วนประกอบที่ทำงานสอดคล้องกัน จึงขอแยกเป็นส่วนๆ ดังนี้

### 2.2.1 ส่วนลำเลียงเชื้อเพลิง

ส่วนนี้ประกอบด้วยฮอปเปอร์เก็บเชื้อเพลิง ลำเลียงเชื้อเพลิงโดยใบสกรูที่ติดอยู่ข้างล่าง มอเตอร์ของใบสกรูจะถูกควบคุมความเร็วรอบการหมุนด้วย Inverter เชื้อเพลิงที่ออกจากใบสกรูอาจต่อเข้าไปในเครื่องบดหรือท่ออากาศปฐมภูมิซึ่งจะขอลำในส่วนวิธีทดลองและการแก้ปัญหาในส่วนต่อไป

### 2.2.2 ส่วนของอากาศปฐมภูมิและทุติยภูมิ

ในส่วนอากาศปฐมภูมิและทุติยภูมินั้น ประกอบด้วยพัดลมขนาด 1 แรงม้าและ 5 แรงม้า ตามลำดับ ควบคุมการไหลโดยใช้คอนโทรลลวาล์ว และวัดอัตราการไหลโดยอาศัยความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการที่อากาศไหลผ่านแผ่นออริฟิสด้วยเซนเซอร์วัดความดันแตกต่าง แต่เนื่องจากปริมาณลมที่ต้องการใช้ในท่อของอากาศปฐมภูมิและทุติยภูมิประกอบกับแผ่นออริฟิส นั้นจะทำให้เกิดความดันแตกต่างตกคร่อมมาก เกิดความสูญเสียแรงดัน จึงเลือกใช้วิธีการขยายท่อทั้งก่อนเข้าและด้านหลังตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นออริฟิส ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2



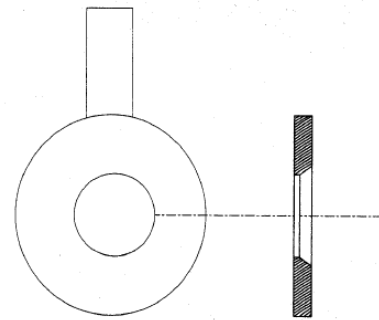
รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งออริฟิสในท่อแบบขยาย

### 2.2.3 ส่วนของอากาศทุติยภูมิ

ในส่วนอากาศทุติยภูมินั้นประกอบด้วยพัดลมขนาด 5 แรงม้า อัตราลมเข้าไปในท่อขนาด 3 นิ้ว ควบคุมการไหลโดยใช้คอนโทรลลวาล์ว และวัดอัตราการไหลโดยอาศัยความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการที่อากาศไหลผ่านแผ่นออริฟิสด้วยเซนเซอร์วัดความดันแตกต่าง

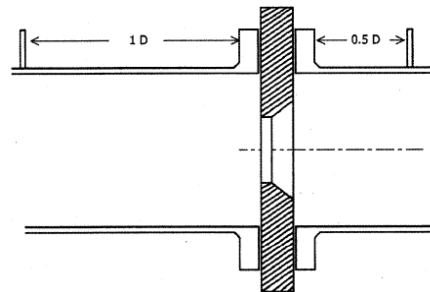
### 2.2.5 ในการออกแบบออริฟิสของท่ออากาศทั้งสาม

ออกแบบตามมาตรฐาน ISO 5167 ที่ยานการใช้งาน 1 MW โดยเลือกใช้ออริฟิสแบบ Concentric Orifice Plate ตามรูปที่ 3



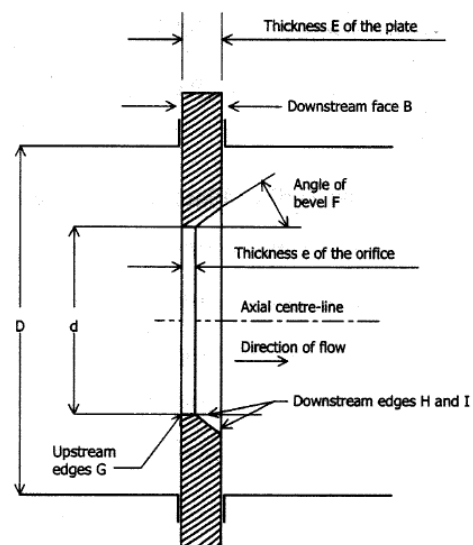
รูปที่ 3 แสดงลักษณะ Concentric Orifice Plate

และเลือกใช้จุดต่อสำหรับวัดความดันแตกต่าง (Pressure Tapping) แบบจุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D (Vena Contracta Taps) ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงจุดต่อวัดค่าความดันแตกต่างแบบ Vena Contracta Taps

ลักษณะพื้นฐานของแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน ISO 5167 สามารถดูได้จากรูปที่ 3



รูปที่ 5 แสดงลักษณะพื้นฐานของแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน ISO 5167

## DRC-03

1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา

เมื่อคำนวณตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 5167 จะได้ขนาดของออริฟิสทั้งสามตัวดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงขนาดของออริฟิสทั้งสามท่อ

|        | ท่อ 1     | ท่อ 2      | ท่อ 3     |
|--------|-----------|------------|-----------|
| D (mm) | 88.9 (3") | 114.3 (4") | 88.9 (3") |
| d (mm) | 52.20     | 68.51      | 52.20     |
| E (mm) | 2.5       | 3.5        | 2.5       |
| e (mm) | 1.0       | 1.5        | 1         |

เนื่องจากเราใช้การขยายท่อแบบ ในรูปที่ 2 ซึ่งมีความต้องการระยะเส้นตรงขึ้นต่ำทั้งก่อนเข้าและหลังออกจากออริฟิสเป็นระยะ 30D และ 7D ตามลำดับ จึงได้ผลตามตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงระยะเส้นตรงทั้งด้านหน้าและด้านหลังออริฟิสของแต่ละท่อเป็นดังนี้

|            | ท่อ 1(mm) | ท่อ2 (mm) | ท่อ3 (mm) |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| Upstream   | 2337.6    | 3067.8    | 2337.6    |
| Downstream | 545.4     | 715.8     | 545.4     |

### 3. การทดลอง

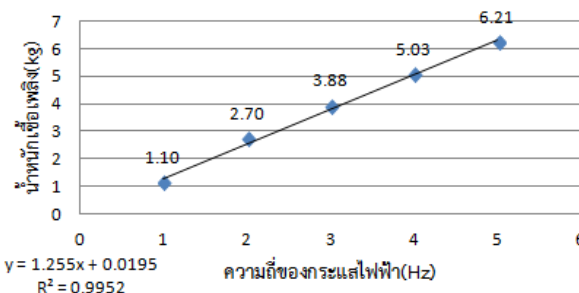
เนื่องจากมีการทดลองหลายส่วน จึงขอแบ่งส่วนต่างๆดังนี้

#### 3.1 การลำเลียงเชื้อเพลิงแบบที่ 1

ในตอนแรกนั้นจะเริ่มการทดลองโดยการเทเชื้อเพลิงอัดเม็ด(Wood pellet)ขึ้นไปเก็บไว้ในฮอปเปอร์ แล้วลำเลียงเข้าสู่ไบสกรูเข้าเครื่องบด จากนั้นเชื้อเพลิงที่รับการบดแล้วจะถูกลำเลียงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ข้อดีของวิธีนี้คือเชื้อเพลิงมีความปลอดภัยในการเก็บรักษาไม่พุ้งจนติดไฟง่าย ในขั้นแรกทำการทดลองโดยจับเวลาและชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ไหลผ่านไบสกรูที่แต่ละย่านความถี่ไฟฟ้า ผลที่ได้แสดงตามกราฟที่ 1 ด้านล่าง

กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเชื้อเพลิงอัดเม็ดกับความถี่ไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมมอเตอร์

กราฟแสดงอัตราการขนถ่ายเชื้อเพลิงในระยะเวลา 1 นาที ในช่วงความถี่ของกระแสไฟฟ้า 1-5 Hz



หลังจากได้ผลการทดลองดังตารางข้างต้นแล้ว

จึงทำการทดลองเป็นลำดับดังนี้

**3.1.1. ลำเลียงเชื้อเพลิงอัดเม็ดผ่านไบสกรูเข้าสู่เครื่องบด แล้วปล่อยให้เชื้อเพลิงผกตกลงห้องเจต บั้มทำหน้าที่เป่าเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้วยอากาศปฐมภูมิ**

ปัญหาที่พบจากลำเลียงเชื้อเพลิงแบบนี้คือ ไม่สามารถวัดปริมาณอากาศที่เกิดจากพัดลมอากาศปฐมภูมิและอากาศที่เกิดจากเครื่องบดได้จึงต้องเปลี่ยนวิธี

**3.1.2 ลำเลียงเชื้อเพลิงอัดเม็ดผ่านไบสกรูเข้าสู่เครื่องบด แล้วต่อท่ออากาศปฐมภูมิในลักษณะอนุกรมกับเครื่องบดส่งเชื้อเพลิงผสมกับอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้**

ปัญหาที่พบจากการทดลองแบบนี้คือ ปริมาณอากาศที่เกิดจากเครื่องบดมากเกินความต้องการของทุกย่านการทดลองจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนวิธี

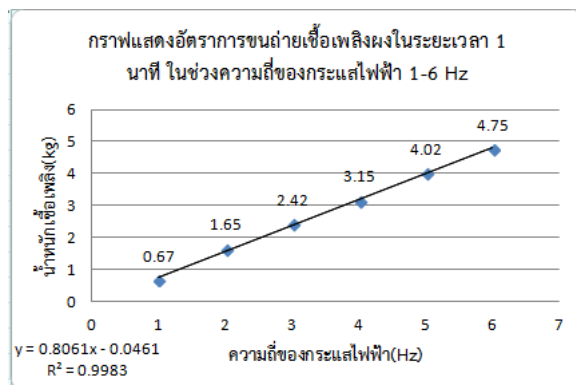
#### 3.2 การลำเลียงเชื้อเพลิงแบบที่ 2



รูปที่ 6 แสดงส่วนเชื่อมต่อดังฮอปเปอร์จนถึงเครื่องบด

เนื่องจากการนำเชื้อเพลิงอัดเม็ดมาบดแล้วส่งเข้าห้องเผาไหม้โดยตรงได้เกิดปัญหาดังที่กล่าวมาแล้ว จึงจำเป็นต้องบดเชื้อเพลิงอัดเม็ดเก็บไว้ปริมาณหนึ่ง เมื่อได้ปริมาณตามต้องการแล้วจึงนำขึ้นเทเก็บไว้บนฮอปเปอร์ จากนั้นจึงลำเลียงเชื้อเพลิงผงเข้าสู่โบลกรู แล้วปล่อยให้ไหลสู่ห้องเจตบีมแล้วยิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของเชื้อเพลิงผงกับความถี่ไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมโบลกรูแสดงดังกราฟต่อไปนี้

กราฟที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเชื้อเพลิงผงกับความถี่ไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมมอเตอร์



จากกราฟจะเห็นได้ว่าน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ได้จากแต่ละย่านความถี่นั้นมีความเป็นเส้นตรงตลอดความต้องการใช้

### 3.2.1 ปัญหาที่พบมีหลายประการดังนี้

1. เชื้อเพลิงมีการอัดแน่นและเซตตัวไม่ไหลลงโบลกรู จึงต้องมีคนคอยเคาะหรือกวาดเชื้อเพลิงอยู่ตลอดเวลา แนวทางแก้ไขในอนาคต ต้องมีการติดตั้งเครื่องกวาดหรือเครื่องเคาะที่ฮอปเปอร์
2. เชื้อเพลิงเมื่อเป็นผงแล้วสามารถขึ้นไต่ได้ง่ายกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ด
3. ในการบดเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้เป็นมีความยุ่งยากอยู่สองประการคือ หนึ่งการเก็บฝุ่นผงของเชื้อเพลิงทำได้ยากเนื่องจากลมที่เกิดจากเครื่องบดมีปริมาณสูง จึงใช้วิธีต่อท่อเข้าสู่ไซโคลนแล้วใช้ถุงกระสอบร่วมกับตัวกรองของเครื่องดูดฝุ่น อาจมีการรั่วและปลิวไปตามลมได้บางส่วนและต้องทำความสะอาดตัวกรองเป็นระยะๆ

เนื่องจากต้องการบดเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้มีขนาดเล็กจนเกือบเท่าฝุ่นแป้ง เครื่องบดจึงใช้เวลานานในการบดและบดได้ในปริมาณที่น้อย ส่วนนี้คาดว่าจะต้องเปลี่ยนเครื่องบดในอนาคต ซึ่งการบดเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่องสูงสุดทำได้ประมาณ 300 กรัมต่อนาที ซึ่งความต้องการใช้งานที่ 1 MW อยู่ที่ประมาณ 3.8 กิโลกรัมต่อนาที

### 3.3 ทดลองเผาเชื้อเพลิงขนาดต่าง ๆ เพื่อดูลักษณะการเผาไหม้

เนื่องจากเครื่องบดสามารถเปลี่ยนขนาดรูของตระแกรงเพื่อให้ได้ความละเอียดจากการบดต่างกัน จึงทำการทดลองบดเชื้อเพลิงผ่านตระแกรงออกมาสามขนาดคือ 1.5 มม. , 1.0 มม. และ 0.5 มม. แล้วทำการทดสอบเผา เพื่อสังเกตลักษณะเปลวไฟของเชื้อเพลิงแต่ละขนาด ได้ผลการทดลองดังรูปต่อไปนี้

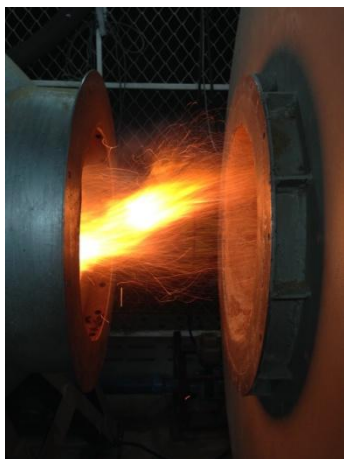


รูปที่ 7 แสดงการเผาเชื้อเพลิงที่บดผ่านตระแกรงขนาด 1.5 มม.

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่าเชื้อเพลิงได้จากการบดผ่านตระแกรง ขนาด 1.5 มม. ติดไฟได้ยากและเผาไหม้ได้ไม่หมดเป็นจำนวนมาก แต่ในทางกลับกันในการเลือกซื้อเชื้อเพลิงเพื่อเก็บเชื้อเพลิงไว้รอการบดละเอียดในครั้งต่อไปอาจจะจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งทำให้ลดราคาเชื้อเพลิงได้อีกส่วนหนึ่ง

## DRC-03

1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา



รูปที่ 8 แสดงการเผาเชื้อเพลิงที่บิดผ่านตระแกรงขนาด  
1.0 ม.ม.

จากรูปที่ 8 จะเห็นว่าเชื้อเพลิงติดไฟได้ดีแต่  
ยังมีส่วนที่ยังไม่เผาไหม้เหลืออยู่บางส่วน



รูปที่ 9 แสดงการเผาเชื้อเพลิงที่บิดผ่านตระแกรงขนาด  
0.5 ม.ม.

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่าเชื้อเพลิงที่บิดผ่านตระแกรงขนาด 0.5 ม.ม. ซึ่งมีความละเอียดมากที่สุดนั้นติดไฟง่ายและเผาไหม้ได้ดี มีส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดน้อยมาก ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์การเผาไหม้จะได้ทำการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

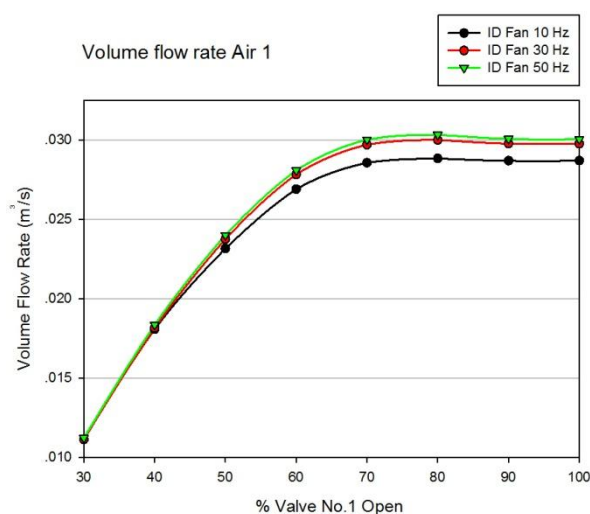
### 3.4 การทดลองหาอัตราการไหลของอากาศ

เป็นการทดลองในระบบปิดโดยได้ศึกษาผลของความดันแตกต่างที่เกิดจากการเปิดปิดของวาล์ว และอิทธิพลของพัดลมดูดอากาศที่ย่านการเปิดต่างๆ ว่าส่งผลต่อการป้อนอากาศเข้าอย่างไร โดยเราใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมพัดลมดูดอากาศขนาด 5 แรงม้า โดยการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0-50 Hz โดยคิดอัตราการไหลเชิงปริมาตรที่อุณหภูมิประมาณ 35 เซลเซียส อากาศมีความหนาแน่นประมาณ  $1.14 \text{ kg/m}^3$

#### 3.4.1 การทดลองอากาศปฐมภูมิ

เครื่องวัดความดันแตกต่างของท่อ 1 มีย่านการวัดอยู่ที่ 0-10 mbar ต่อक्रमระหว่างออร์ฟิสตามขนาดแสดงในตารางที่ 2 ได้ผลการทดลองดังกราฟต่อไปนี้

กราฟที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 1



จะเห็นว่าการเปิดพัดลมดูดอากาศที่ย่านต่างๆ (10-50 Hz) มีผลต่อการไหลของอากาศปฐมภูมิเล็กน้อย ซึ่งสามารถนำไปกำหนดเป็นค่าแก้ไขในการกำหนดอัตราการไหลด้วยระบบควบคุมต่อไป

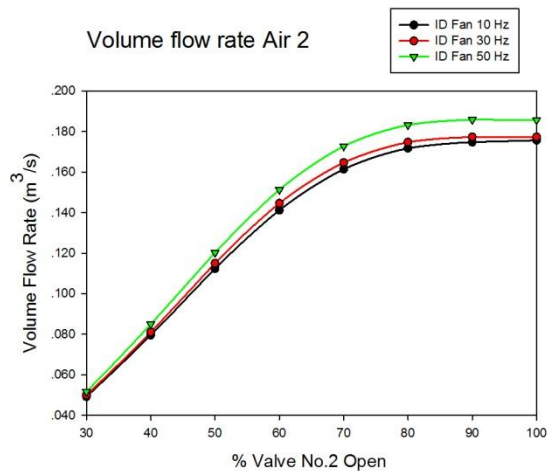
#### 3.4.2 การทดลองอากาศทุติยภูมิ

เครื่องวัดความดันแตกต่างของท่อ 2 มีย่านการวัดอยู่ที่ 0-100 mbar ต่อक्रमระหว่างออร์ฟิสตามขนาดแสดงในตารางที่ 2 ได้ผลการทดลองดังกราฟต่อไปนี้

## DRC-03

1-3 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา

กราฟที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 2

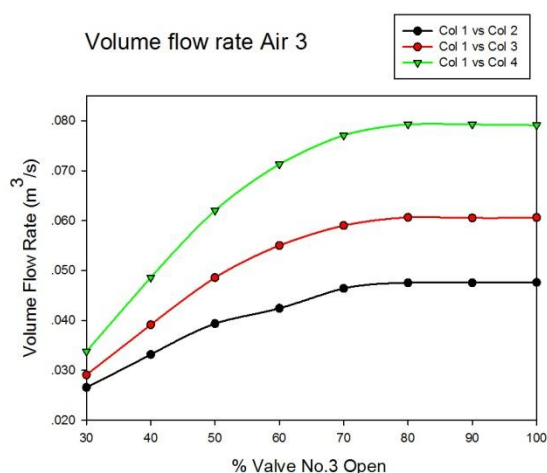


จะเห็นว่าการเปิดพัดลมดูดอากาศที่ย่านต่างๆ (10-50 Hz) มีผลต่อการไหลของอากาศทุติยภูมิเล็กน้อย ซึ่งสามารถนำไปกำหนดเป็นค่าแก้ไขในการกำหนดอัตราการไหลด้วยระบบควบคุมต่อไป

### 3.4.3 การทดลองอากาศตติยภูมิ

เครื่องวัดความดันแตกต่างของท่อ 3 มีย่านการวัดอยู่ที่ 0-100 mbar ต่อคร่อมระหว่างออร์ฟิสตามขนาดแสดงในตารางที่ 2 ได้ผลการทดลองดังกราฟต่อไปนี้

กราฟที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) กับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว 3



จะเห็นว่าพัดลมดูดอากาศมีผลต่อการไหลของอากาศตติยภูมิค่อนข้างชัดเจน เบื้องต้นสันนิษฐานว่าช่องทางออกของอากาศตติยภูมิอยู่ใกล้กับพัดลมดูด

อากาศมากกว่าช่องทางอื่นและมีลักษณะเป็นคอขวด จึงได้รับอิทธิพลจากการเปิดพัดลมดูดอากาศค่อนข้างสูง

## 4. สรุป

จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า เชื้อเพลิงที่ได้รับ การบรรจผ่านตระแกรงขนาด 0.5 มม. ให้การเผาไหม้ที่ดีกว่าขนาดอื่น จึงใช้เชื้อเพลิงขนาดนี้เป็นเชื้อเพลิงหลักในการทดลอง และยังมีข้อจำกัดในเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องบดที่มีอัตราการผลิตต่ำไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ เมื่อเก็บเชื้อเพลิงผงไว้ในฮอปเปอร์เชื้อเพลิงจะอัดตัวมีลักษณะเป็นโพรงไม่ไหลลงมาเข้าไบสกรูต้องทำการกวาดตลอดการทดลอง ห้องเจ็ดบีมไม่สามารถเป่าเชื้อเพลิงผงที่ข้างการทดลองที่ต่ำกว่า 100 kW หรือสูงกว่า 400 kW ได้อย่างต่อเนื่อง และการทำหัวเจ็ดที่ท่ออากาศปฐมภูมิให้อัตราการไหลสูงสุดของอากาศลดลง ในการควบคุมมอเตอร์ไบสกรูถ้าใช้ความถี่ไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 1 Hz มอเตอร์จะไม่สามารถหมุนอย่างต่อเนื่องได้ การใช้เชื้อเพลิงและเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วต่างๆ ที่ 3 ย่านการทดลองคือที่ 0.25 Mw, 0.50Mw และ 0.75 Mw ดังแสดงในตารางที่ 3 ด้านล่างนี้ ทั้งนี้การรู้ความต้องการในส่วนต่างๆ ของระบบจะส่งผลถึงการกำหนดพารามิเตอร์และส่งสัญญาณควบคุมที่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การพัฒนาอุปกรณ์บดและลำเลียงเชื้อเพลิงให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องในย่านที่ใช้ งานคือเป้าหมายต่อไปของการพัฒนา

ตารางที่ 3 การใช้ปริมาณเชื้อเพลิงและอากาศที่ย่านการทดลองต่างๆ

|                                            | 0.25 Mw | 0.50 Mw | 0.75 Mw |
|--------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Fuel (kg/min)                              | 0.95    | 1.9     | 2.85    |
| Pri. Volume Flow ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 0.011   | 0.022   | 0.033   |
| SEC. Volume Flow ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 0.072   | 0.144   | 0.215   |
| TER. Volume Flow ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 0.027   | 0.055   | 0.083   |
| %Valve open 1                              | 30      | 100     | 100     |
| %Valve open 2                              | 36      | 60      | 100     |
| %Valve open 3                              | 30      | 60      | 100     |

## DRC-03

### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทวีช ชูเมือง, "Industrial Instrumentation Engineering and Design. (Part II: Instrument Engineering and Selection)
- [2] D.W. Spitzer, "Flow measurement", Instrument Society of America
- [3] ISO 5167-1:1991 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices.
- [4] Simatic s7-300 Manual Siemens, 2013
- [5] Simatic Manager Step7 V5.5, PLC Software
- [6] Helmholtz AEA300 Manual Edition 5, 2011